长江中游稻区夏季飞机航捕迁入褐飞虱的轨迹分析

华红霞[1]，邓望喜[1]，李儒海[2]

（1. 华中农业大学植物保护学系，武汉 430070；2. 湖北省农业科学院植物保护研究所，武汉 430070）

摘要：根据 1977 ~ 1979 年 3 年的 7 月份飞机航捕褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的资料，应用轨迹分析模型，得出了长江中游稻区夏季迁入褐飞虱的中尺度虫源地及迁入路径。1）湘东北-鄂东南稻区虫源来自桂中至湘中稻区（24° ~ 28°N，109° ~ 114°E），褐飞虱的迁入路径有两条：①柳州→桂林→衡阳→该区；②柳州→桂林→邵阳→该区。2）赣北-鄂东稻区虫源来自桂中至赣西稻区（24° ~ 29°N，110° ~ 115°E），褐飞虱的迁入路径有一条：蒙山→倏县→宜春→该区。3）湘中、东部稻区虫源来自桂南至湘南稻区（23° ~ 27°N，109° ~ 113°E），褐飞虱的迁入路径有一条：南宁→柳州→桂林→该区。

关键词：褐飞虱；轨迹分析；迁飞路径；虫源地

中图分类号：S435.112.3 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296（2002）01-0068-07

Trajectory analysis on the summer immigrant brown planthoppers（*Nilaparvata lugens*）in the middle reaches of the Yangtze River captured by aerial net

HUA Hong-Xia[1]，DENG Wang-Xi[1]，LI Ru-Hai[2]（1. Department of Plant Protection，Huazhong Agricultural University，Wuhan 430070，China；2. Institute of Plant Protection，Hubei Academy of Agricultural Sciences，Wuhan 430070，China）

Abstract：The possible sources and immigrant pathways of the brown planthopper（BPH），*Nilaparvata lugens*（Stål），in the middle reaches of the Yangtze River were investigated by the means of trajectory analysis. The BPHs were captured by aerial nets installed on the plane，which flew at the height of 1 500 meters above the sea level in July 1977，1978 and 1979. A modified backward trajectory model based on the capturing time，duration time and the synoptic weather data at 850 hPa isobaric level was used to calculate the backward trajectories. The results showed：1. In the area of northeastern Hunan and southeastern Hubei Province，the immigrant BPHs came from the area between middle Guangxi and middle Hunan Province（24° ~ 28°N，109° ~ 114°E），and there were two immigrant pathways of BPHs：①Liuzhou→Guilin→Hengyang→this area；②Liuzhou→Guilin→Shaoyang→this area. 2. In the area of eastern Hubei and northern Jiangxi Province，the immigrant BPHs came from the area between middle Guangxi and western Jiangxi Province（24° ~ 29°N，110° ~ 115°E），and there was one immigrant pathway of BPHs：Mengshan→Shuxian→Yichun→this area. 3. In the area of eastern and middle Hunan Province：the immigrant BPHs came from the area between southern Guangxi and southern Hunan Province（23° ~ 27°N，109° ~ 113°E），and there was one immigrant pathway of BPHs：Nanning→Liuzhou→Guilin→this area.

Key words：*Nilaparvata lugens*；trajectory analysis；migration pathway；immigrant source

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 是我国及亚洲一些国家水稻生产中主要的灾害性害虫之一。20 世纪 70 年代开始，日本及我国通过海洋捕捉、航空捕捉、高山网捕、田间灯下虫情观测及标记回收研究，并结合气象资料分析，已确切证实褐飞虱具有远距离迁飞特性（全国褐飞虱科研协作组，1981）。褐飞虱重灾区长江中下游的虫源地有相关报道，程遐年等（1979）认为长江中下游 7 月上中旬的虫源主要来自南岭区；邓望喜（1981）根据飞机空捕的结果，认为长江中游稻区春、夏迁入的褐飞虱主要来自 27°N 以南地区；巫国瑞等（私人通讯）认为中国大陆的虫源主要来自中南半岛的湄公河三角州的

基金项目：国家攀登计划课题（85-31-03-01）

第一作者简介：华红霞，女，1970 年 7 月生，汉族，湖北，硕士，讲师，从事农业昆虫学和作物抗虫性研究，E-mail：huahongxia-gsh@yeah.net

收稿日期 Received：2000-08-22；接受日期 Accepted：2001-04-30

冬春稻上，每年随西南季风首先降落在两广地区，然后随着早稻的成熟及收割渐渐由南向北迁飞。轨迹分析法（trajectory analysis）是研究昆虫迁飞的一种有效方法，Rosenberg 等（1983a）首次采用计算机对褐飞虱的迁飞轨迹进行分析，开创了应用计算机对昆虫迁飞轨迹进行分析的先河，即用风速、风向确定空气粒子的移动来模拟褐飞虱的迁飞，对初夏雨季迁入日本和秋季回迁到热带地区的褐飞虱的迁飞路径进行了模拟，这标志着对褐飞虱迁飞路径的估计达到了定量水平（Rosenberg and Magor，1987）。李儒海等（1998）应用中国东部 80 个探空台站 850 hPa 等压面的气象资料对长江中游稻区 1985～1991 年每年 6、7 月 14 个点的褐飞虱灯诱及田间观测资料，共 122 个降虫日，27 个迁入峰，进行了轨迹分析，首次得出了长江中游稻区 4 个区夏季迁入褐飞虱的中尺度虫源地及迁飞路径。本项研究在此基础上，利用轨迹分析模型及气象资料对 1977～1979 年 3 年的 7 月份在长江中游稻区 1 500 m 高度飞机航捕褐飞虱共 23 个航段的资料进行轨迹分析，为长江中游稻区褐飞虱的中尺度虫源地及迁飞途径提供更确切的依据。

1 材料与方法

1.1 轨迹分析模型软件

原软件为英国自然资源研究所（Natural Resource Institute，UK）的轨迹分析模型，为解释 BASIC 程序，修改了部分语句，并做了优化处理（李儒海等，1998）。

1.2 研究时段与区域

以 1977～1979 年 3 年的 7 月份飞机航捕期作为研究时段。飞机航捕 23 个航段共涉及到长江中游稻区湖北、湖南、江西 3 省的 14 个地理点。各点地理位置为：1. 湖北省：江陵县（30.1°N，112.1°E），松滋县（30.3°N，111.7°E），武汉市江夏区（30.5°N，114.3°E），嘉鱼县龙口镇（29.9°N，113.8°E），通城县（29.2°N，113.8°E），阳新县（29.7°N，115.2°E）；2. 湖南省：长沙市（28.2°N，112.9°E），平江县（28.7°N，113.5°E），醴陵县（27.6°N，113.5°E），常德县（29.0°N，111.7°E），华容县（29.5°N，112.5°E），衡山市（27.2°N，112.8°E），衡山市福田铺（27.6°N，112.8°E）；3. 江西省：德安县（29.3°N，115.2°E）。

将以上各点的地名及所在经、纬度（国家测绘局科学研究所地名研究室，1983）输入计算机中，并将此地理位置文件取名为 SPOTNAME（标准文本文件）。

1.3 气象资料选用

1.3.1 温度：褐飞虱在空中运行的适宜温度为 17～22℃，上限 30℃，下限 12℃（邓望喜，1981）。由于 7 月份 850 hPa 等压面温度皆在可迁飞温度范围内，因此，本研究不考虑温度对褐飞虱空中运行的限制。所有的温度数据全部取 0。

1.3.2 风向与风速：夏季褐飞虱的适宜迁飞高度为 1 500～2 000 m（邓望喜，1981），因此，选择中国东部有代表性的探空台站 44 个，先将各台站的站号、经度、纬度（中国国家气象局北京气象中心气候资料室，1977～1979）输入计算机中，并将此地理位置文件（标准文本文件）取名为 STATS。再将 1977、1978、1979 年 3 年 7 月每天 0：00 GMT（Greenwich Mean Time，格林威治平均时）、12：00 GMT 探空报告中的与 1 500 m 高度相近的 850 hPa 等压面风向、风速、温度（中国国家气象局北京气象中心气候资料室，1977～1979）记录输入计算机，取文件名为 Uyymm. tdd（标准文本文件），yy 代表年份，mm 代表月份，t 取 0 或 2（0 代表 0：00 GMT，2 代表 12：00 GMT），dd 代表日期。

1.4 捕捉时间与续航时间

捕捉时间：来自本文第二作者 1977、1978、1979 三年飞机航捕资料（邓望喜，1981）。

褐飞虱的持续飞行时间，国内外已有很多报道。Rosenberg 等（1983）认为褐飞虱在空中的续航时间最长可达 30 h，因此，在进行回推轨迹分析时假定飞机航捕的褐飞虱最长续航时间为 30 h。褐飞虱的起飞高峰在北京时间 5：00 及 19：00（陈若篪和程遐年，1980），因此由起飞时间和捕捉时间可推导出可能的续航时间。

1977、1978、1979 年 3 年飞机航捕的 23 个航段，共 46 个捕捉点。每一捕捉时间与每一续航时间组成一对参数，在读取以上文本文件的基础上，每一对参数可做一次回推轨迹运算，可得出一条轨迹，3 年共得到 119 条回推轨迹。

2 结果与分析

2.1 回推轨迹的终点分布

若以本稻区内各捕捉点为坐标原点，将空间分为西南、西北、东北、东南 4 个象限，则回推轨迹

终点在各象限内的分布见表 1。3 年累计终点落在西南象限的回推轨迹共 107 条，占轨迹总数的 89.9%，其中有效轨迹为 72 条，占轨迹总数的 60.5%，说明本稻区虫源主要来自于西南方向；终点落在东南象限的回推轨迹共 6 条，占轨迹总数的 5.1%，其中有效轨迹为 4 条，占轨迹总数的 3.4%，查看有效回推轨迹终点落在东南象限时天气状况，发现从褐飞虱被捕捉时间往后推移的 30 h 之内在东南沿海有从南海到广东省的东南地区登陆的台风，这说明本稻区的猖獗虫源有一部分来自于东南沿海，由台风带来。落在西北象限的回推轨迹全部为无效轨迹，说明风速小于 1.6 m/s 时，褐飞虱可在空中做短暂的主动飞行，这时的飞行方向并不能代表其远距离迁飞的方向。综合考虑本稻区及其以北稻区褐飞虱田间发生规律（程遐年等，1979），可以推测 7 月份从北部稻区不可能有褐飞虱南迁到本稻区。

表 1 飞机航捕褐飞虱回推轨迹终点分布

Table 1 The distribution of the endpoints of backward trajectories of brown planthoppers captured by aerial net

年份 Years	象限[①] Quadrant	频次 Number		频率 Frequency（%）	
		有效[②] Valid	无效[②] Invalid	有效 Valid	无效 Invalid
1977	西南（SW）	2	2	33.3	33.3
	东南（SE）	0	0	0.0	0.0
	西北（NW）	0	2	0.0	33.4
	东北（NE）	0	0	0.0	0.0
1978	西南（SW）	21	18	44.7	38.3
	东南（SE）	4	0	8.5	0.0
	西北（NW）	0	4	0.0	8.5
	东北（NE）	0	0	0.0	0.0
1979	西南（SW）	49	15	74.2	22.7
	东南（SE）	0	2	0.0	3.1
	西北（NW）	0	0	0.0	0.0
	东北（NE）	0	0	0.0	0.0
合计 total		76	43	63.9	36.1

① 以本稻区各褐飞虱捕捉点为坐标原点 Supposing each capturing point of BPH is the origin of the coordinate

② 有效轨迹指轨迹运行的全过程中无风速（< 1.6 m/s）的时段出现，反之，为无效轨迹。下表同 During the course of the trajectory model running, if there was a wind speed lower than 1.6 m/s, the trajectory calculated was an invalid trajectory; on the contrary, the trajectory calculated was a valid trajectory. The same for the following table

2.2 回推轨迹的空中摆动

从表 1 可以看出，3 年累计终点在本稻区南部地区（包括东南、西南）的回推轨迹共 113 条，占轨迹总数的 95.1%，其中有 76 条轨迹一直向南延伸，占轨迹总数的 72.3%。但也有 22.8% 的轨迹在空中并不具有确定的方向性，而是在空中南北摆动。按其空中动态可分为 6 类（表 2）。回推轨迹的空中摆动反映了褐飞虱夏季迁入长江中游稻区受东亚季风影响的特点。

表 2 回推轨迹空中南北延伸不同类型的分布

Table 2 the distribution of different types of south-north extending trends of backward trajectories

年份 Years	南北动态 South-north extending trends	频次 Number	
		有效 Valid	无效 Invalid
1977	→S	2	2
	→S→N	0	2
	→S→N→S	0	0
	→N	0	0
	→N→S	0	0
	→N→S→N	0	0
1978	→S	25	0
	→S→N	0	5
	→S→N→S	0	5
	→N	0	4
	→N→S	0	4
	→N→S→N	0	4
1979	→S	49	8
	→S→N	0	2
	→S→N→S	0	1
	→N	0	0
	→N→S	0	6
	→N→S→N	0	0
频次合计（total number）		76	43

2.3 长江中游稻区夏季迁入褐飞虱的虫源地

根据回推轨迹到达或经过的区域，可以推论出空中网捕褐飞虱的虫源地。将 14 个航捕地理点划分为 3 个区，这 3 个区的虫源地为：

1）湘东北-鄂东南稻区，虫源来自桂中至湘中稻区（24°～28°N，109°～114°E）；

2）鄂东-赣北稻区，虫源来自桂中至湘东和赣西稻区（24°～29°N，110°～115°E）；

3）湘中、东部稻区，虫源来自桂南至湘南稻区（23°～27°N，109°～113°E）。

2.4 顺推追踪与回推追踪的比较

从没有无效轨迹出现的航段中随机选择 20% 的航段，选择续航时间较长的参数运行回推轨迹模型，轨迹方向及是否到达虫源地的情况见表 3。然

表 3 回推轨迹分析结果

Table 3 The results of backward trajectory analysis

日期 Date	捕获时间 （GMT） Capturing time	捕捉点 Capturing point	续航时间 （h） Duration time	轨迹方向 Extending direction of backward trajectory	到达虫源地否 Reaching the emigrant source area or not（+①/-②）
1978-07-12	23：00	阳新 Yangxin	12	NE→SW	+
		德安 Dean	12		+
		阳新 Yangxin	26		+
		德安 Dean	26		+
1978-07-08	10：00	通城 Tongcheng	13	NE→SW	+
		龙口 Longkou	13		+
		通城 Tongcheng	23		+
		龙口 Longkou	23		+
1979-07-23	1：00	长沙 Changsha	14	NE→SW	+
		通城 Tongcheng	14		+
		长沙 Changsha	28		+
		通城 Tongcheng	28		+
1979-07-20	23：00	长沙 Changsha	12	NE→SW	+
		衡山 Hengshan	12		+
		长沙 Changsha	26		+
		衡山 Hengshan	26		+

①到达虫源地 reaching the emigrant source area；②未到达虫源地 not reaching the emigrant source area

表 4 飞机航捕褐飞虱顺推轨迹分析结果

Table 4 The results of forward trajectory analysis

日期 Date	起始时间（GMT） Starting time	起点 Starting point	续航时间（h） Duration time	轨迹方向 Direction of forward trajectory	到达本稻区否 Reaching the area being studied or not（+①/-②）
1978-07-12	11：00	赣西③	12	SW→NE	+
	11：00	湘东④	12		+
1978-07-11	21：00	桂中⑤	26	SW→NE	−
	21：00	湘东④	26		+
1978-07-07	21：00	桂北⑥	13	SW→NE	−
	21：00	湘中⑦	13		+
1978-07-07	11：00	桂北⑥	23	SW→NE	+
	11：00	湘南⑧	23		+
1979-07-22	11：00	桂中⑤	14	SW→NE	−
	11：00	湘中⑦	14		+
1979-07-21	21：00	桂北⑥	28	SW→NE	+
	21：00	湘南⑧	28		+
1979-07-20	11：00	湘南⑧	12	SW→NE	+
	11：00	桂北⑥	12		+
1979-07-19	21：00	桂北⑥	26	SW→NE	+
	21：00	桂中⑤	26		+

①到达本稻区 reaching the area being studied；②未到达虫源地 not reaching the area being studied；③western Jiangxi Province；④eastern Hunan Province；⑤middle Guangxi Province；⑥northern Guangxi Province；⑦ middle Hunan Province；⑧ southern Hunan Province

后从可能的虫源地任选一点作为起点，再根据表 3 中的续航时间及捕获时间推算出褐飞虱相应的迁飞起始时间，用顺推轨迹模型来验证虫源地的正确性（表 4）。结果表明：只要可能的虫源地有褐飞虱迁出，其迁飞方向均指向本稻区，顺推轨迹中绝大多数可到达本稻区，少数没有到达的，只要延长续航时间，都能到达本稻区。这表明用回推轨迹模型所得褐飞虱的虫源地是可信的。

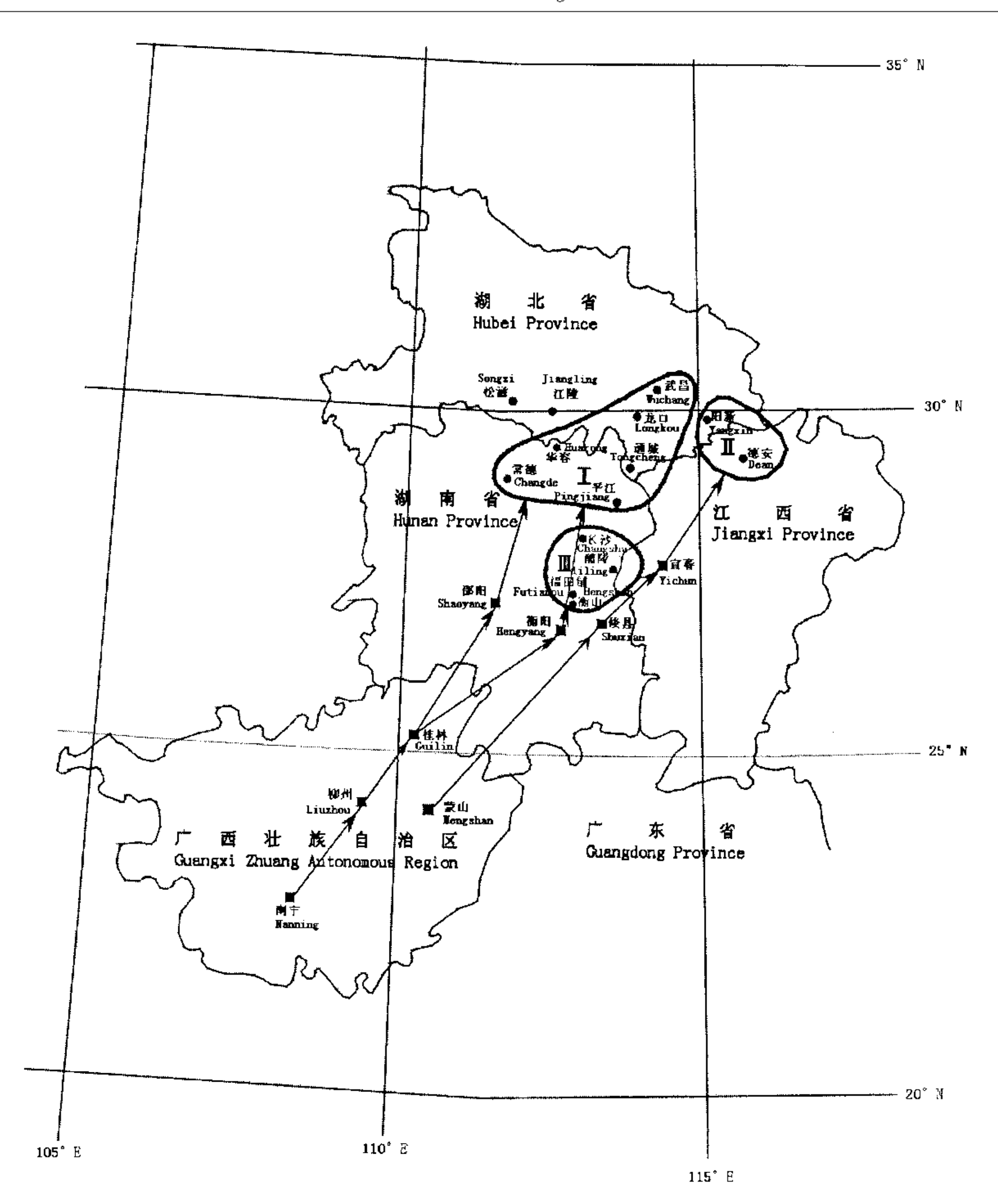


图1　褐飞虱航捕点及迁飞路径示意图

Fig. 1　The geographic points where brown planthoppers were captured and their migration pathways

●褐飞虱航捕点 The geographic points where brown planthoppers were captured; →■→■褐飞虱迁飞路径 migration pathways of brown planthoppers; Ⅰ. 湘东北-鄂东南稻区 the area of northeastern Hunan and southeastern Hubei Province; Ⅱ. 鄂东-赣北稻区 the area of eastern Hubei and northern Jiangxi Province; Ⅲ. 湘中、东部稻区 the area of eastern and middle Hunan Province

2.5　长江中游稻区夏季迁入褐飞虱的迁入路径

由于回推轨迹模型每3 h输出一次迹线终点(以经纬度表示)，连接这些点就可以得到一条曲线，即迁飞轨迹。因此，回推轨迹运行后所得的迁飞轨迹集中分布的地域即为褐飞虱的迁飞路径，对照中国地图，即可得出长江中游稻区夏季迁入褐飞虱的迁飞路径（图1)。

1）湘东北-鄂东南稻区。迁入褐飞虱的迁飞路径两条：①柳州→桂林→衡阳→湘东北-鄂东南稻区；②柳州→桂林→邵阳→湘东北-鄂东南稻区。

2）鄂东-赣北稻区。迁入褐飞虱的迁入路径有一条：蒙山→倏县→宜春→鄂东-赣北稻区。

3）湘中、东部稻区。南宁→柳州→桂林→湘中、东部稻区。

3 讨论

本研究所提出的迁飞路径并非数学中点的概念，而是以该地区为中心的一定范围内的通道，褐飞虱夏季北迁的高度主要集中在 1 500 ~ 2 000 m（邓望喜，1981），因此必须考虑山脉的阻隔作用。以上迁飞路径中有可能经过东西走向的南岭山系及衡山，但前者大部分在海拔 1 000 m 以下，其最高峰越城岭为海拔 2 123 m，由于南岭山系地面久经侵蚀，已成为不连贯的山脉，山地中间有大小不等的盆地和谷地，一般海拔在 200 ~ 400 m（冯绳武，1989），褐飞虱北迁时可从盆地和谷地上空通过，后者主峰为 1 290 m，不影响其北迁。而且由于衡山为南宽北窄的山谷漏斗状，当西南气流流经衡山西侧时形成明显的窄管效应，北迁的褐飞虱运行到此时常出现密集现象（邓望喜等，1980）。

对不同地理种群褐飞虱的生物学特性及酯酶同工酶、药剂敏感性比较研究结果（华红霞和邓望喜，1997；邓望喜等，2000）表明，龙州（国外迁入虫源必降之地）、九宫山（迁入长江中游虫源必经哨口）、监利（长江中游虫源降落繁殖地）、新会（我国褐飞虱稳定越冬地）等 4 个种群有高度相似性，根据相似性的程度可以推测长江中游稻区褐飞虱虫源地主要是西南方向的广西壮族自治区，但东南沿海的褐飞虱稳定越冬区也可能成为长江中游稻区的虫源地。应用轨迹分析模型，将褐飞虱地面灯诱资料进行轨迹分析后也得到类似的结果（李儒海等，1998）。本研究进一步证实了上述结论，并将虫源地的范围量化。

本项研究结果与李儒海等（1998）应用地面灯诱资料进行轨迹分析所得结果基本一致。本研究是应用 1977、1978、1979 年夏季在 1 500 m 高空飞机航捕褐飞虱数据进行轨迹分析，应该说较应用地面灯诱、田间调查数据进行轨迹分析所得结果更为直接和确切。但受飞机航捕的飞行范围和飞行次数的限制，两者之间也存在一些细微的差别。（1）研究的区域：共有 3 个区，2 个区与地面轨迹分析相同，新增了一个湘中、东部地区，无鄂西南山地区和江汉平原。虽然江汉平原有一个航段两个捕捉点，但两个点的回推轨迹皆为无效轨迹，因此无法分析该地的虫源地及迁飞路径。（2）虫源地：本项研究得出的虫源地范围比地面轨迹分析要小。（3）迁飞路径：本研究中无从广州起始的迁飞路径，这是因为虽然也有 4 条有效回推轨迹的终点落在本稻区的东南部，但由于落在东南象限的有效回推轨迹（4 条）及航段（2 个）太少，且终点离广东太远，因此无法对来自我国东南沿海地区的虫源及迁飞路径进行系统分析。

参 考 文 献（References）

Chen R C，Cheng X N，1980. The take-off behavior of brown planthopper（*Nilaparvata lugens*（Stål））and its synchronous relations to the biological rhythm and environmental factors. *Journal of Nanjing Agricultural College*，2：42 ~ 49.［陈若篪，程遐年，1980. 褐飞虱起飞行为与自身生物学节律、环境因素同步关系的初步研究. 南京农学院学报，2：42 ~ 49］

Cheng X N，Chen R C，Xi X *et al*.，1979. Studies on the migrations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. *Acta Entomologica Sinica*，22（1）：1 ~ 21.［程遐年，陈若篪，习学等，1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报，22（1）：1 ~ 21］

Deng W X，1981. A general survey on seasonal migrations of *Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatella furcifera*（Horrath）（Homoptera：Delphacidae）by means of airplane collections. *Acta Phytophylacica Sinica*，8（2）：73 ~ 81.［邓望喜，1981. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报，8（2）：73 ~ 81］

Deng W X，Xu K J，Rong X L *et al*.，1980. Preliminary study on *Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatella furcifera*（Horrath）（Homoptera：Delphacidae）by means of airplane collections. *Entomological Knowledge*，17（3）：97 ~ 102.［邓望喜，许克进，荣秀兰等，1980. 飞机网捕褐稻虱及白背飞虱的研究初报. 昆虫知识，17（3）：97 ~ 102］

Deng W X，Zhou X L，Li S Q *et al*.，2000. A comparative study on the biotype and flight ability of different geographical populations of brown planthopper in China. *Journal of Plant Protection*，27（2）：131 ~ 135.［邓望喜，周小尼，李绍勤，2000. 我国褐飞虱不同地理种群生物学比较. 植物保护学报，27（2）：131 ~ 135］

Feng S W，1989. China Physical Geography. Beijing：Higher Educational Publishing Company. 155 ~ 205.［冯绳武，1989. 中国自然地理. 北京：高等教育出版社. 155 ~ 205］

Hua H X，Deng W X，1997. A comparative study on biological characteristics of different geographic populations of brown planthoppers（*Nilaparvata lugens*（Stål））. *Acta Entomol. Sin*.，40（suppl.）：147 ~ 152.［华红霞，邓望喜，1997. 褐飞虱不同地理种群生物学特性的比较. 昆虫学报，40（suppl.）：147 ~ 152］

Information Office of Beijing Meteorological Center of National Weather Bureau of China，1977 – 1979. Monthly report on the upper air of China. Beijing：Weather Meteorological Press.［中国国家气象局北京气象中心气候资料室，1977 ~ 1979. 中国高空气象记录月报. 北京：气象出版社］

Li R H *et al*., 1998. The trajectory analysis of brown planthoppers (*Nilaparvata lugens* (Stål) migrating into middle reaches of Changjiang River in summer. In: Plant Protection Institute of Agricultural Academy of China *et al*. eds. The Plant Protection Prospects for 21st Century. Beijing: Scientech Publishing Press of China. 487～492. [李儒海等，1998. 长江中游稻区夏季迁入褐飞虱的轨迹分析. 见：中国农科院植保所等编. 植物保护 21 世纪展望. 北京：中国科技出版社. 481～492]

National Cooperated Research Group of Brown Planthopper, 1981. Advances in the study of the migration of brown planthopper in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2: 52～59. [全国褐飞虱科研协作组，1981. 我国褐稻虱迁飞规律的研究进展. 中国农业科学，2：52～59]

Rosenberg L J, Magor J I, 1983a. A technique for examining the long-distance spread of plant virus disease transmitted by the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae), and other windborne insect vectors. In: Plumb R T, Thresh J M eds. Plant Virus Epideiology. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 229～238.

Rosenberg L J, Magor J I. 1983b. Flight duration of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Ecol. Entomol*., 8: 341～350.

Rosenberg L J, Magor J I, 1987. Predicting windborne displacement of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* from synoptic weather data. 1. Long-distance displacement in the northeast monsoon. *J. Animal Ecol*., 56: 39～51.

Toponym Group of National Topographical Bureau, 1983. Toponym Collections of China-Toponym Indexes of China Maps of PRC. Beijing: Map Press. [国家测绘局科学研究所地名研究室，1983. 中国地名录——中华人民共和国地图集地名索引. 北京：地图出版社]